

線形計画法を用いた散歩経路における道路特性評価値の解析 Evaluation of Road Characteristics in Walking Routes using Linear Programming

外井哲志^{*1}・坂本紘二^{*2}

Satoshi TOI, Koji SAKAMOTO

1. はじめに

著者らは、福岡県浮羽郡田主丸町で実施した散歩行動調査データに基づいて、次のような分析を行ない、散歩行動の全体像を明らかにしてきた。

まず、散歩行動に関する意識データに基づいて散歩行動をパターン化し、12の行動分類を抽出した¹⁾。次に、散歩経路の分析から、散歩者が選好する道路特性を明らかにした²⁾。さらに、散歩行動によって散歩距離が変化し、それが散歩経路の形態を決定することを明らかにした³⁾。

これらの分析からは、研究例が少ない散歩行動に関して多くの知見を得ることができたものの、現在の研究段階としては現象の説明に止まっており、歩行空間の量的計画に利用できる散歩行動の予測モデルの構築にはいたっていない。

このような背景から、著者らは、散歩行動、特に散歩経路の予測モデルの構築を目標とし、散歩経路の快適性の観点から、線形計画法を用いて、散歩経路上の各道路特性に定量的な評価値を求める試みを行った。本稿では、その数理モデルの定式化の考え方を述べた後、これを前述の調査データに適用して道路特性の評価値を求めた結果を報告するものである。

2. 散歩経路選択モデルの仮定

上記の調査では、散歩者1人につき1本の散歩経路を調査をしており、これを基本とする。すなわち、個々の散歩者は、自宅周辺にある数多くの散歩経路

キーワード：地区交通計画、歩行者・自転車交通計画、歩行者交通行動
*1：正会員、九州大学大学院工学研究科、〒812-8581 福岡市東区箱崎 1-10-6, Tel 092(642)3277, Fax 092(642)3306、
*2：正会員、下関市立大学、Tel 0832(54)8652

の中から、自分の好みに合う経路を選びだしていると考ええる。

ここで、選択の対象とするのは、出発点を散歩者の自宅とし、実際の散歩経路とほぼ同じ距離を持つ経路である。こうした散歩経路（可能路）をシミュレーションで多数探索し、これらと実経路との道路特性上の相違に基づいて解析を行う。このため、次のような仮定をおくことにする。

- ①散歩者にとって、実際に散歩する経路（実経路）は、どの可能路よりも魅力的である。
- ②散歩者は、自宅周辺の道路状況を熟知している。
- ③経路全体の魅力は、散歩経路を構成する個々の道路区間の道路特性の評価値の和で表される。
- ④散歩の出発点が変わっても、同一地域内であれば同一の評価基準で行動する。
- ⑤道路特性の評価は、散歩者（グループ）によって異なるが、状況によってその評価が大きくは変化することはない。

仮定①②は、経路調査データ利用して評価値を求めるための前提であり、③はモデル式形に関する仮定、④⑤は、解析結果を利用する立場からの仮定である。

3. 線形計画法を用いた解析モデル

(1) 線形計画問題の定式化

散歩経路の道路特性 i カテゴリー j （以降、カテゴリー ij と呼ぶ）の延長を l_{ij}^r 、散歩者がカテゴリー ij の単位延長に対してもつ効用の値を a_{ij} とする。

このとき、経路 r を散歩するときの効用は、仮定③に基づいて、次式で表される。

$$V_r = \sum_j a_{ij} l_{ij}^r \quad (1)$$

ここで、散歩経路 r と起点を同じくし、ほぼ同延

長をもつ経路を k とすると、経路 k を利用する場合の散歩者の効用は、次のように表わせる。

$$V_k = \sum_j a_{ij} l_{ij}^k, \quad (2)$$

散歩者にとって、実際に利用された散歩経路はそうでない経路よりも効用が高いと考えられる（仮定①）。すなわち、すべての経路 k について $V_r \geq V_k$ であるから、

$$\sum_j a_{ij} (l_{ij}^r - l_{ij}^k) \geq 0 \quad (\text{for all } k) \quad (3)$$

となる。

ここで、各道路特性は道路の舗装や幅員などの互いに比較できない特性であり、一方、カテゴリはそれぞれの道路特性内で相互補完関係にあることから、道路特性内でのカテゴリ評価値の総和は0でなければならないと考え、次の制約条件を導入する。

$$\sum_{j \in \Theta} a_{ij} = 0 \quad (\text{for all } i) \quad (4)$$

これを1本の実経路における道路特性評価値の決定に関する最適化問題の形で表現すると、つぎのようになる。

$\begin{aligned} &\text{Maximize} \quad V_r = \sum_j l_{ij}^r a_{ij}, \\ &\text{s.t.} \quad \sum_j (l_{ij}^r - l_{ij}^k) a_{ij} \geq 0 \quad (\text{for all } k), \\ &\quad \quad \sum_{j \in \Theta} a_{ij} = 0 \quad (\text{for all } i), \\ &\text{and each } a_{ij} \text{ is not non-negative.} \end{aligned} \quad (5)$

上式において、 a_{ij} は非負条件に拘束されないの、2つの非負の変数 $a_{ij}' (\geq 0)$ と $a_0 (\geq 0)$ を導入する。

$$a_{ij} = a_{ij}' - a_0 \quad (6)$$

さらに、

$$\sum_j l_{ij}^r = L_r, \quad \sum_j l_{ij}^k = L_k \quad (7)$$

$$\Delta l_{ij}^k = l_{ij}^r - l_{ij}^k, \quad \Delta l_k = L_r - L_k \quad (8)$$

とすれば、上記式(5)の最適化問題は次のように書き換えることができる。

$\begin{aligned} &\text{Maximize} \quad V_r = \sum_j l_{ij}^r a_{ij}' - L_r a_0, \\ &\text{s.t.} \quad \sum_j \Delta l_{ij}^k a_{ij}' \geq \Delta l_k a_0 \quad (\text{for all } k), \\ &\quad \quad \sum_{j \in \Theta} a_{ij}' = n_i a_0 \quad (\text{for all } i), \\ &\text{and } a_{ij}' \geq 0 \quad (\text{for all } i, j), a_0 \geq 0 \end{aligned} \quad (9)$
--

(2) 解析上の問題点と対応策

上記問題を解くに当たって、いくつかの問題点が考えられる。以下にその問題点と対応策を述べる。

- ① 制約条件式右辺の a_0 は決定変数であるので、条件式は $\sum_j \Delta l_{ij}^k a_{ij}' - \Delta l_k a_0 \geq 0$ が本来の形であるが、このままでは右辺の定数項が0であるため、実用解がえられない。そこで a_0 を定数とみなし、数値を与えて解析する。
- ② 可能路 k が実経路 r と同じ長さを持つ場合には、 $\Delta l_k = 0$ となってしまうため、①と同様の問題点が生じるが、この場合には a_0 を定数とみなす対応も無意味である。したがって、このような制約条件式は除外する。
- ③ 可能路 k をランダムに求めると互いに全く同一のものが得られ、制約条件式中に同一の式が存在する。この場合には、同一の制約条件式を1個に限定する。
- ④ 地域によっては、ある種の道路特性が一樣で特定のカテゴリに偏っているため、散歩経路の選び方に無関係に l_{ij}^k の値が同じ組合せをとる(すべての制約条件式において特定の変数 a_{ij}' の係数 l_{ij}^k の値が一定となる) ことがあり、特殊な場合には、あるカテゴリに属する道路が全くないこともある。この場合には、すべての制約条件式において、変数 a_{ij}' の係数 l_{ij}^k が0となる。このような場合には、 a_{ij}' を決定変数から除外する。

4. 道路特性評価値に関する分析

(1) 道路特性評価値の計算

散歩者の自宅周辺の道路網データに基づき、シミュレーションによって、実経路1本に対し可能路を多数(100本)探索した²⁾。このときの探索ルールは、実経路との距離の相違が10%内外であること、および同一リンクを通過する回数は2回以内であることの2点のみとした。

次に、実経路と可能路の組み合わせ毎に、式(9)の係数 l_{ij}^r 、 L_r 、 Δl_{ij}^k 、 Δl_k を求め、 $a_0 = 100$ として線形計画問題を解析した。その結果として、61組の最適解を含む合計265組の実用解が得られ、54本の散歩経路については、可能解が得られなかった。

(2) 解の転用範囲と解集合の説明力に関する分析

265組の実用解の道路特性評価値は、これに基づいた実経路の快適性が、実経路に対応するどの可能

路のそれよりも高いことを保証するものである。

しかし、ある散歩者の経路データから得られた道路特性評価値が、他の散歩者の実経路の選択状況を説明し得ることは考えられ、また、265組の実用解が、可能解を求め得なかった54本の散歩経路に対して全く説明力を持たないとは考えにくい。

そこで、265組の実用解の転用可能性を次の手順で分析した。

①265組の各々の解の転用可能な実経路数（転用可能な解とは、全制約条件を満足する可能解である）を調べ、これより、265本の実経路におけるすべての制約条件を満足するのに必要な実用解の和集合 $\{M\}$ を求めた。 $\{M\}$ の要素数は47であった。

②制約条件を緩和し（5個までの制約条件は満たされなくてもよいとした）、これに伴う和集合 $\{M\}$ の変化（縮小） $\{M\}$ と転用可能範囲の拡大状況を調べた。その結果、 $\{M\}$ の要素数は25に減少し、 $\{M\}$ の要素番号と転用可能な実経路数（ $\{M\}$ 内）は、 $\{72(99), 90(35), 159(26), 218(18), 195(15), 288(15), 35(12), 17(12), 152(10), 108(10), 1(9), 171(8), 6(8), 83(8), 120(7), 75(7), 146(6), 227(6), 277(6), 116(5), 73(5), 4(2), 33(2), 63(2), 214(2)\}$ となった。

（3）解における道路特性評価内容の考察

表-1に $\{M\}$ のうち、転用可能範囲が広い6組の解について、道路特性カテゴリ別の評価値を示した。

第1の解は、72番の実経路とその周辺の可能路の道路特性分析から導かれたものであり、他の99の散歩経路に関して実経路の評価値が最も高くなる。

この解では、アスファルト舗装、平坦、曲がりくねっている、5~6m幅、筑後川・巨勢川沿い、市街化されていない、建物は学校・病院があり、交通量は中くらいで、照明はない、などの特徴を評価していることが分かる。

第2の解は、290番の実経路に関するもので、35の散歩経路に関して実経路の評価値が最高になる。この解では、アスファルトや土、坂道、緩やかなカーブ、7~8m幅、沿道は草花や川、建物なし、市街化されていない、交通量は中~大、照明はほとんどない、などの特徴を評価している。

第3の解は、道路幅が4~5mと狭くなり、市街化

表-1 道路特性カテゴリ別の評価値

解番号	1	2	3	4	5	6
転用可能数	99	35	26	18	15	15
舗装	アスファルト(良)	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
	アスファルト(不良)	200.0	73.0	200.0	0.0	-100.0
	タイル・レンガ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	土	-100.0	27.0	-100.0	100.0	200.0
勾配	坂道	-100.0	100.0	-100.0	0.0	-100.0
	平坦な道	100.0	-100.0	100.0	0.0	100.0
線形	直線の道	-100.0	-100.0	-88.8	95.7	-100.0
	緩やかなカーブ	-100.0	200.0	88.8	-95.7	200.0
	屈曲した道	200.0	-100.0	0.0	0.0	-100.0
幅員	幅員2m以下	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-1.1
	3m以下	-100.0	-100.0	41.6	-100.0	-100.0
	4m以下	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	186.7
	5m以下	-100.0	-100.0	454.8	-100.0	313.3
	6m以下	500.0	-100.0	-96.5	0.0	-100.0
	8m以下	0.0	600.0	-100.0	78.2	-100.0
	8m以上	-100.0	-100.0	-100.0	321.8	-100.0
沿道状況	コスモス	-100.0	0.0	-100.0	-100.0	-74.3
	草花	-100.0	382.7	-100.0	0.0	467.8
	並木・森林	0.0	0.0	-100.0	0.0	0.0
	農園	0.0	-100.0	5.5	0.0	-35.3
	田畑	-100.0	-100.0	-100.0	500.0	-100.0
	建物	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
	公園・広場	0.0	-70.1	-100.0	0.0	-100.0
	野原	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	筑後川・巨勢川	600.0	187.4	771.3	-100.0	-100.0
	雲雀川	0.0	0.0	-100.0	0.0	-100.0
沿道建物	小川	-100.0	-100.0	0.0	-100.0	232.2
	コンクリート側溝	-100.0	-100.0	-76.7	-100.0	-100.0
	学校・病院	310.8	0.0	-100.0	0.0	-71.5
	神社・寺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
歩道	駐車場	-100.0	-100.0	-100.0	128.2	-100.0
	住宅	-100.0	-100.0	61.7	-100.0	-100.0
	商店	-100.0	0.0	0.0	-100.0	-100.0
	なし	-10.8	200.0	138.3	71.8	371.5
規制	両側歩道	0.0	0.0	-100.0	-100.0	-100.0
	片側歩道	100.0	100.0	200.0	200.0	-100.0
	歩道無し	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	200.0
市街化	両側通行	100.0	0.0	100.0	8.1	100.0
	一方通行進入禁止	-100.0	0.0	-100.0	-8.1	-100.0
	100%市街化	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	252.9
	75%市街化	-100.0	-100.0	227.8	-100.0	400.0
	50%市街化	-100.0	-100.0	-100.0	300.0	-100.0
見晴	25%市街化	-100.0	153.3	72.2	0.0	-100.0
	0%市街化	400.0	146.7	-100.0	-100.0	-100.0
	見晴らしがよい	100.0	100.0	73.6	100.0	100.0
交通量	見晴らしが悪い	-100.0	-100.0	-73.6	-100.0	-16.1
	交通量大	-100.0	27.0	-100.0	-100.0	-15.0
	交通量中	200.0	73.0	200.0	200.0	-100.0
	交通量小	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	200.0
照明	照明があり	-100.0	-100.0	200.0	100.0	-100.0
	照明が不備	-100.0	52.2	-100.0	0.0	-0.9
	照明が全くない	200.0	47.8	-100.0	-100.0	100.9

された道路を評価している。

第4の解は、土の路面、直線で広い道路、田畑等

を評価している。

第5の解では、緩やかなカーブで3～5m幅、かつ歩道がない道路、沿道は草花と小川、比較的市街化されているが交通量が少ない道路を評価している。

第6の解は、駐車場等の空き地、市街化が進んだ道路、照明のない道路等を評価している。

5. 道路特性評価値による散歩経路の再現性の検討

表-1 に示された6組の解のうち、最も多くの散歩経路において実経路の評価が最高となる解1を用いて、319本の散歩経路各々で最も評価値が高い可能路を抽出した。これと実経路とで共通のリンクの延長を集計し、実経路に対する比率を求めると、実経路を再現できた場合を含めて38.9%、除外した場合には15.9%となった。この結果から、経路の再現のためには、単独の解1のみでは情報量が不足することがわかる。

図-1には、いくつかの経路の再現状況を示した。

経路Aは解1で再現できた実経路である。

経路Bは、解2では実経路を再現できるが、解1を用いて抽出した場合には実経路と部分的に重なるものの、異なった形の可能路が選ばれている。

経路Cは解6で実経路が得られるが、経路Bと同様に実経路とは一部異なるものの、異なった形となっている。

経路Dは、転用可能性の低い14番目の解によって実経路が再現されるが、解1を用いた場合には実経路と形は異なっている。

6. 結論と今後の課題

本研究では、散歩経路の調査データに基づき、散歩者にとっては、可能路よりも実経路が快適であるはずであるとの前提のもとに、線形計画法を適用して、散歩者個々の道路特性評価値を求め、その転用可能性と経路の再現性について分析した。

その結果、線形計画モデルで求めた道路特性評価値を用いることによって、大多数の実経路を再現できることが明らかとなった。また、評価構造が異なる複数の解で全体をカバーすることはできたが、共通性の高い少数の解を求めるには至らなかった。

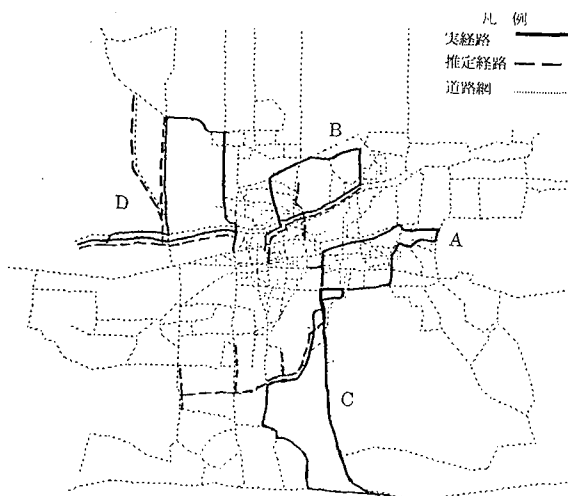


図-1 可能路から抽出された推定経路と実経路

その原因と対応については、次のように考える。

- ①採用した変数が個々の独立した道路特性であるため、線形式では表現できない側面があった。この点に関しては、個々の道路特性の評価値に変えて道路分類の評価値を変数として分析する。
- ②可能路を求めるシミュレーションにおける探索規準が、実経路の距離とリンク1本の最大通過回数(2回)のみであり、リンク通過回数の分布状況等のデータから得られる情報を用いていなかったため、可能路において環状路が構成される割合が少なくなった。これに関しては、散歩経路の形態を一定のレベルで再現することを試みたい。

参考文献

- 1) 外井、坂本、井上、中村、根本：散歩行動の実態とその類型化に関する研究、土木計画学研究・論文集 No.13、pp.743-750、1996.8
- 2) 外井、坂本、井上、中村、根本：散歩経路の道路特性に関する分析、土木計画学研究・論文集 No.14、pp.791-798、1997.9
- 3) 外井、坂本、井上、中村、根本：道路特性と経路の形状要素を考慮した散歩経路の利用構造に関する研究、土木計画学研究・論文集 No.16、に登載決定